

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



(12) **Offenlegungsschrift**
 (10) **DE 195 20 004 A 1**

(51) Int. C. A.:
G 01 P 15/00
 G 01 P 15/09
 G 01 L 5/00
 // B50R 21/32

(21) Aktenzeichen: 195 20 004.7
 (22) Anmeldetag: 27. 5. 95
 (23) Offenlegungstag: 7. 12. 95

③ Unionspriorität: ③ ③ ③
01.06.84 JP P 6-140698

⑦ Anmelder:
Zexel Corp., Tokio/Tokyo, JP

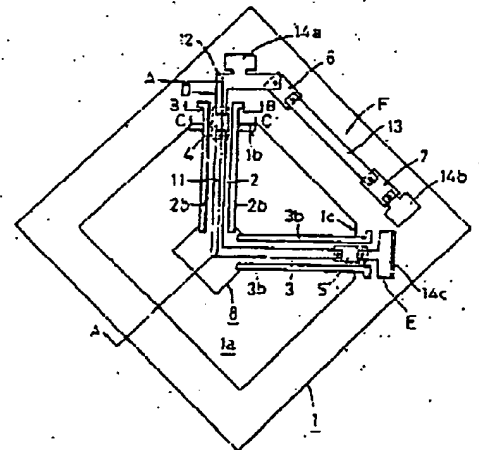
⑦4 Vertreter:
Patentanwälte Gesthuysen, von Rohr, Weidener,
46128 Essen

(72) Erfinder:
Mizuno, Jun, Tokio/Tokyo, JP; Nottmeyer, Kay,
Tokio/Tokyo, JP; Kimura, Mitsuteru, Tokio/Tokyo, JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Beschleunigungssensor

57) Die Erfindung betrifft einen Beschleunigungssensor mit mindestens einer Schwingungsnachweissvorrichtung und mit einem die Schwingungsnachweissvorrichtung haltenden mit- tragenden Ausleger, wobei der Ausleger am schwingenden Ende mit einem Gewicht versehen ist, bei dem die Aufgabe, sowohl die mechanische Stabilität als auch die Empfindlichkeit zu verbessern, dadurch gelöst ist, daß das getragene Ende des Auslegers eine größere Abmessung als der übrige Teil des Auslegers aufweist, daß eine Halterung für das Tragen des Auslegers vorgesehen ist und daß die Halterung eine Ausgleichsvorrichtung aufweist, die denselben Aufbau wie die Schwingungsnachweissvorrichtung aufweist.



DE 195 20 004 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Beschleunigungssensor für den Nachweis einer Beschleunigung eines Fahrzeuges mit den Merkmalen von Anspruch 1.

Beschleunigungssensoren werden für den Nachweis einer durch einen Stoß oder durch Zentrifugalkräfte zusammenstoßender Fahrzeuge erzeugten Beschleunigung verwendet. Die somit nachgewiesene Beschleunigung wird für die Steuerung geeigneter Systeme verwendet, wie beispielsweise ein Airbagsystem. Bei herkömmlichen Beschleunigungssensoren dieser Art ist ein Piezowiderstand auf einem freitragenden Ausleger des Sensors befestigt. Wenn der Sensor einer Beschleunigung ausgesetzt ist, biegt sich der Ausleger wegen dieser Beschleunigung durch, wodurch eine Veränderung des Widerstandswertes des Piezowiderstandes hervorgerufen wird, so daß der Sensor die Beschleunigung nachweisen kann. Die JP-A-3-281251 offenbart ein Beispiel eines Beschleunigungssensors mit vierseitig angeordneten Auslegern. Dabei wird ein viereckiger Rahmen von einer Siliziumplatte gebildet, bei dem von jeder der Seiten sich in Richtung der Mitte des Rahmens erstreckende Ausleger angeordnet sind, die mit einem in der Mitte angeordneten Gewicht verbunden sind. In jeder der Oberflächen der Ausleger ist ein Piezowiderstand ausgebildet, der durch einen Verunreinigungsdiffusionsprozeß erzeugt wird.

Wenn der zuvor beschriebene Beschleunigungssensor einer Beschleunigung ausgesetzt wird, verändern sich die Widerstandswerte der Piezowiderstände in Abhängigkeit von Verformungen, die in den Piezowiderständen durch die Durchbiegung der Ausleger hervorgerufen werden, wodurch der Sensor die Beschleunigung nachweisen kann.

Da die Verformungen der Piezowiderstände durch die Durchbiegung der Ausleger hervorgerufen werden, hängt bei dem zuvor beschriebenen konventionellen Beschleunigungssensor die Empfindlichkeit im wesentlichen ausschließlich von der Elastizität jedes der Ausleger ab, mit der der Ausleger auf Beschleunigungen reagieren kann. Um nun die Empfindlichkeit des Beschleunigungssensors zu verbessern, ist es notwendig, die Dicke jedes der Ausleger zu reduzieren, wodurch die Ausleger in ihrer Elastizität verbessert werden. Die somit in ihrer Elastizität verbesserten Ausleger können nun in genügendem Maße verformt werden, auch wenn der Sensor nur einer geringen Beschleunigung ausgesetzt wird, wodurch es den Piezowiderständen der Ausleger möglich ist, ihren Widerstandswert zu verändern. Da die Ausleger eine geringere Dicke aufweisen, weist der Sensor jedoch eine geringe mechanische Stabilität auf. Dieses ist ein inhärentes Problem konventioneller Beschleunigungssensoren.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, sowohl die Empfindlichkeit als auch die mechanische Stabilität des Beschleunigungssensors zu verbessern.

Die zuvor aufgezeigte Aufgabe wird erfindungsgemäß durch einen Beschleunigungssensor mit den Merkmalen des Kennzeichnungsteil von Anspruch 1 gelöst. Da der freitragende Ausleger, auf dem die Schwingungsnachweisvorrichtung befestigt ist, mit einem der Befestigung dienenden Ende ausgestattet ist, das eine größere Abmessung als der übrige Teil des Auslegers aufweist und mit der Halterung verbunden ist, weist der Ausleger eine ausgezeichnete Beständigkeit gegenüber Schwingungen auf, die in dem getragenen Ende des Auslegers hervorgerufen werden. Wegen dieser Bestän-

digkeit ist der erfindungsgemäße Beschleunigungssensor nur wenig stör anfällig und sehr zuverlässig im Gebrauch.

Da der erfindungsgemäße Beschleunigungssensor weiterhin mit einer Ausgleichsvorrichtung ausgestattet ist, die denselben Aufbau wie die Schwingungsnachweisvorrichtung aufweist, wird erfindungsgemäß keine separate Ausgleichsvorrichtung in einem externen Schaltkreis benötigt. Aus dem selben Grund weist die Ausgleichsvorrichtung nahezu dieselben Ausgangseigenschaften wie die Schwingungsnachweisvorrichtung auf, wodurch der erfindungsgemäße Beschleunigungssensor eine nahezu vollständige Kompensation der von der Schwingungsnachweisvorrichtung erzeugten Ausgangssignale ermöglicht.

Mit dem zuvor beschriebenen Aufbau ist es zudem möglich, zusätzlich zu einer eindimensionalen Beschleunigung auch eine zweidimensionale Beschleunigung nachzuweisen, wie beispielsweise eine Beschleunigung bei einer Drehbewegung, wobei sowohl die Größe als auch die Richtung der Drehbewegung nachweisbar ist.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert, wozu auf die Zeichnung verwiesen werden darf. In der Zeichnung zeigt

Fig. 1 in einer Draufsicht ein erstes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Beschleunigungssensors,

Fig. 2 im Querschnitt den erfindungsgemäßen Beschleunigungssensor entlang der in Fig. 1 dargestellten Linie A-A,

Fig. 3 im Querschnitt den erfindungsgemäßen Beschleunigungssensor entlang der in Fig. 1 dargestellten Linie B-B,

Fig. 4 im Querschnitt den erfindungsgemäßen Beschleunigungssensor entlang der in Fig. 1 dargestellten Linie C-C,

Fig. 5 eine perspektivische Darstellung des in Fig. 1 dargestellten ersten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung,

Fig. 6 ein Beispiel eines elektrischen Schaltkreises, dessen Elemente elektrische Äquivalente zu denen des ersten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiels des Beschleunigungssensors darstellen,

Fig. 7 ein weiteres Beispiel eines elektrischen Schaltkreises, dessen Elemente elektrische Äquivalente zu denen des ersten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiels des Beschleunigungssensors darstellen, wobei die externen Anschlüsse für eine praktische Verwendung dargestellt sind,

Fig. 8 einen Längsschnitt eines weiteren Ausführungsbeispiels eines Trägers des erfindungsgemäßen Beschleunigungssensors,

Fig. 9 in einer Draufsicht ein zweites Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Beschleunigungssensors,

Fig. 10 ein Beispiel eines elektrischen Schaltkreises, dessen Elemente elektrische Äquivalente zu denen des zweiten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiels des Beschleunigungssensors darstellen, und

Fig. 11 ein weiteres Beispiel eines elektrischen Schaltkreises, dessen Elemente elektrische Äquivalente zu denen des zweiten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiels des Beschleunigungssensors darstellen, wobei externe Anschlüsse für eine praktische Verwendung dargestellt sind.

In Fig. 1 ist ein erfindungsgemäßer Beschleunigungssensor mit freitragenden Auslegern dargestellt, der folgenden Aufbau aufweist. Eine Halterung 1 ist mit einem Paar von Auslegern 2 und 3 versehen, die beide einen freitragenden Ausleger bilden. Ein erster Piezowider-

stand 4 und ein zweiter Piezowiderstand 5 sind für den Nachweis von Schwingungen auf den Auslegern 2 und 3 ausgebildet. In beiden schwingenden Enden der Ausleger 2 und 3 ist ein Gewicht ausgebildet und auf einer Seite der Halterung 1 ist ein Paar von Piezowiderständen 6 und 7 für einen Ausgleich ausgebildet.

Die Halterung 1, die aus Si(100) besteht, weist eine im wesentlichen flache viereckige Form auf. Wie in Fig. 2 dargestellt ist, ist in der oberen Oberfläche der Halterung 1 mit Hilfe eines geeigneten Verfahrens, wie beispielsweise das CVD-Verfahren, ein Si-OxNy-Film 9 mit einer Dicke von ungefähr 2 µm ausgebildet. Eine bevorzugte Dicke (d.h. die in Fig. 2 dargestellte Höhe) der Halterung 1 ist ungefähr 500 µm.

Bei dem erfindungsgemäßen ersten Ausführungsbeispiel ist die Halterung 1 mit einer Öffnung 1a versehen, die entlang einer Seite F des Rahmens 1 gegenüberliegend ausgebildet ist. Ausgehend von den Eckenteilen 1b und 1c der Seite F sind die Ausleger 2 und 3 sich in Richtung der Mitte des Rahmens 1 erstreckend angeordnet, auf denen der SiOxNy-Film 9 ausgebildet ist, wie es in den Fig. 1 und 5 dargestellt ist. Die Ausleger 2 und 3 sind mit hohlen Teilen 2a und 3a versehen. Wie in den Fig. 1 und 4 deutlich wird, erstrecken sich im wesentlichen viereckig ausgebildete, horizontale Flansche 2b und 3b von den gegenüberliegenden Enden der hohlen Teile 2a und 3b nach außen.

Jedes der getragenen Enden der Ausleger 2 und 3 ist integral mit dem SiOxNy-Film 9 ausgebildet, der in der oberen Oberfläche der Halterung 1 wie zuvor beschrieben ausgebildet ist. Jedes der anderen Enden, also die schwingenden Enden der Ausleger 2 und 3 erstrecken sich in Richtung der Mitte der Öffnung 1a der Halterung 1 und sind mit einem Gewicht 8 verbunden, wobei die obere Oberfläche 8b integral mit denen der Ausleger 2 und 3 ausgebildet ist. Wie in den Fig. 2 und 5 dargestellt ist, sind die schwingenden Enden der Ausleger 2 und 3 miteinander über die obere Oberfläche 8b des Gewichtes 8 verbunden.

Wie aus den Fig. 1 und 5 deutlich wird, sind die Flansche 2b und 3b der Ausleger 2 und 3 im rechten Winkel nach außen gebogen, um somit nach außen gebogene Teile in den entsprechenden getragenen Enden der Ausleger 2 und 3 zu bilden. Die Halterung 1 ist mit einer Mehrzahl von Einkerbungen 1d versehen, die entsprechend der umgebogenen Teile der Flansche 2b und 3b der Ausleger 2 und 3 angeordnet sind. In diesen Einkerbungen 1d erstreckt sich der auf der oberen Oberfläche der Halterung 1 ausgebildete SiOxNy-Film 9 auf die Flansche 2b und 3b, um deren Seitenwände zu bedecken, so daß der SiOxNy-Film 9 mit den Flanschen 2b und 3b verbunden ist.

Obwohl in dem dargestellten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung das Paar von Auslegern 2 und 3 mit ihren vorderen bzw. schwingenden Enden miteinander verbunden ist, um sozusagen einen zweibeinigen freitragenden Ausleger zu bilden, ist es ebenso möglich, diese Ausleger durch einen einzigen freitragenden Ausleger zu ersetzen. Solch ein einzelner freitragender Ausleger ist mit einer zentral angeordneten dreieckigen Öffnung versehen, und sein getragenes Ende hat dabei eine größere Ausdehnung als das vordere bzw. schwingende Ende. In diesem Fall entspricht diese dreieckige Öffnung der Öffnung, die durch die beiden Ausleger 2 und 3 und der Seite F der Halterung 1 umgeben ist, wie es in Fig. 1 für das erste Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung dargestellt ist.

Dementsprechend definiert eine entsprechende Öff-

nung in der Halterung 1 ein Paar von Auslegern 2 und 3. Wenn nun erfindungsgemäß das getragene Ende des Auslegers, der aus dem Paar von Auslegern 2 und 3 gebildet ist, größere Abmessungen als die vorderen bzw. schwingenden Enden aufweist, verdreht sich ein solcher Ausleger nur schwer, wenn er Schwingungen ausgesetzt ist. Dementsprechend werden die Piezowiderstände 4 und 5, die im getragenen Ende des aus den Auslegern 2 und 3 gebildeten freitragenden Auslegers gebildet sind, im wesentlichen derselben Verformung ausgesetzt.

Wie zuvor beschrieben worden ist, ist das Gewicht 8 so angeordnet, daß es die schwingenden Enden der Ausleger 2 und 3 miteinander verbindet. Im ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung ist das Gewicht 8 aus einem aus Silizium bestehenden Körper 8a und dessen aus dem SiOxNy-Film 9 hergestellten, oberen Oberfläche 8b (dargestellt in den Fig. 2 und 5) zusammengesetzt. Wenn der erfindungsgemäße Beschleunigungssensor im Betrieb einer Beschleunigung ausgesetzt ist, bewegt sich das Gewicht 8, so daß Durchbiegungen der Ausleger 2 und 3 hervorgerufen werden. Zum Beispiel kann der Beschleunigungssensor der vorliegenden Erfindung einer vertikalen Beschleunigung unter Bedingungen, wie sie in Fig. 2 dargestellt sind, ausgesetzt sein, so daß das Gewicht 8 durch eine Kraft bewegt wird, deren Größe dem Produkt aus der Masse des Gewichtes 8 und der Beschleunigung entspricht, wodurch Durchbiegungen der Ausleger 2 und 3 hervorgerufen werden.

Wie in den Fig. 2, 3 und 4 dargestellt ist, sind der erste Piezowiderstand 4 und der zweite Piezowiderstand 5 aus mit Bor angereichertem oder Bor implantiertem Silizium in beiden unteren Oberflächen 2c und 3c der hohlen Teile 2a und 3a nahe der tragenden Enden der Ausleger 2 und 3 gebildet, wobei sich beide Piezowiderstände 4 und 5 entlang der Längsrichtung jedes der Ausleger 2 und 3 erstrecken und eine Dicke von beispielsweise ungefähr 1 µm aufweisen. Wie deutlich in Fig. 2 dargestellt ist, ist bei dem erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel jeder der beiden Piezowiderstände 4 und 5 in jeder der unteren Oberflächen 2c und 3c der Ausleger 2 und 3 ausgebildet, so daß sich die Piezowiderstände 4 und 5 von einer Position außerhalb der Halterung 1 bis in eine Position zwischen der unteren Fläche des SiOxNy-Films 9, der auf der oberen Oberfläche der Halterung 1 angeordnet ist, und der Halterung 1 erstrecken. Die Menge an Bor, mit dem das Silizium angereichert ist, um den ersten und den zweiten Piezowiderstand 4 bzw. 5 herzustellen, beträgt vorzugsweise mindestens $2 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$. Eine solche hohe Borkonzentration, mit der das Silizium angereichert worden ist, verhindert, daß das so mit Bor angereicherte Silizium geätzt wird, wenn das mit Bor angereicherte Silizium einem anisotropen Ätzmittel wie beispielsweise Kaliumhydroxid (KOH) oder ähnlichem ausgesetzt ist.

Wie aus den Fig. 2 und 3 deutlich wird, sind in jeder der oberen Oberflächen der Ausleger 2 und 3 Kontaktlöcher 10 jeweils in der Nähe der sich gegenüberliegenden Enden des ersten und zweiten Piezowiderstandes 4 und 5 ausgebildet. Wie in Fig. 2 für die Halterung 1 dargestellt ist, sind die inneren Kontaktlöcher 10 des ersten und zweiten Piezowiderstandes 4 bzw. 5 mit einem ersten Leiter 11 verbunden. Wie weiterhin in Fig. 1 zu erkennen ist, ist der erste Piezowiderstand 4 mit einem zweiten Leiter 12 durch das äußere der Kontaktlöcher 10 verbunden. Weiterhin ist der zweite Piezowiderstand 5 mit einer dritten Kontaktfläche 14c über das

äußere seiner Kontaktfläche 10 verbunden.

Der erste Leiter 11, der mit jedem der inneren Enden des ersten und zweiten Piezowiderstandes 4 und 5 verbunden ist, ist auf der oberen Oberfläche der Ausleger 2 und 3 ausgebildet. Mit anderen Worten, wie es in Fig. 2 und 3 dargestellt ist, ist der erste Leiter 11 so angeordnet, daß ein Ende des ersten Leiters 11 mit dem inneren Ende des ersten Piezowiderstandes 4 überlappt, wobei der Ausleger 2 zwischen dem ersten Leiter 11 und dem ersten Piezowiderstand 4 angeordnet ist, und daß das Ende des ersten Leiters 11 mit dem inneren Ende des ersten Piezowiderstandes 4 durch das innere der Kontaktflächen 10 verbunden ist, die in der oberen Oberfläche des Auslegers 2 ausgebildet sind. Wie in Fig. 1 dargestellt ist, erstreckt sich der erste Leiter 11 bis zum Gewicht 8 und ist in einem im wesentlichen rechten Winkel so umgebogen, daß er sich bis zum anderen Ausleger 3 erstreckt.

Das andere Ende des ersten Leiters 11, der in der oberen Oberfläche des Auslegers 3 ausgebildet ist, weist im wesentlichen denselben Aufbau auf, wie es in bezug auf sein erstes Ende beschrieben worden ist. Das bedeutet, daß der erste Leiter 11 an seinem anderen Ende mit dem inneren Ende des zweiten Piezowiderstandes 5 überlappt, während der Ausleger 3 zwischen dem ersten Leiter 11 und dem zweiten Piezowiderstand 5 angeordnet ist, und daß das andere Ende des ersten Leiters 11 mit demselben inneren Ende des Piezowiderstandes 5 durch das innere der Kontaktflächen 10 verbunden ist, die in der oberen Oberfläche des Auslegers 3 ausgebildet sind.

Bei dem ersten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel weist der erste Leiter 11 einen zweischichtigen Aufbau auf, der aus einer Chromschicht und einer Kupferschicht besteht, wobei die Chromschicht eine Dicke von ungefähr 0,05 μ und die Kupferschicht ungefähr 0,2 μ aufweisen und wobei die Schichten auf der oberen Oberfläche des Gewichtes 8 mit Hilfe von Vakuumablagerung hergestellt sind.

Die Teile D und E der Halterung 1 bilden die tragenden Enden der Ausleger 2 und 3. Im Teil D ist der zweite Leiter 12 auf dem SiOxNy-Film 9 ausgebildet. Wie deutlich in den Fig. 1, 2 und 5 dargestellt ist, weist der zweite Leiter 12 an einem seiner beiden Enden eine Verbindung mit dem ersten Piezowiderstand 4 durch das äußere der Kontaktflächen 10 auf, die in dem SiOxNy-Film 9 ausgebildet sind, wobei das andere Ende des zweiten Leiters 12 mit einem der Enden eines dritten Piezowiderstandes 6 überlappt und mit diesem verbunden ist, der auf dem SiOxNy-Film 9 ausgebildet ist. Der zweite Leiter 12 ist mit einer ersten Kontaktfläche 14a verbunden, die auf dem SiOxNy-Film 9 an einer geeigneten Stelle nahe des zweiten Leiters 12 ausgebildet ist, um elektrisch mit einem äußeren Schaltkreis verbunden zu werden. Der zweite Leiter 12 und die erste Kontaktfläche 14a sind vorzugsweise aus Aluminium oder einem ähnlichen Leitermaterial während desselben Verfahrens hergestellt.

Weiterhin ist in der Fig. 1 dargestellt, daß im Teil E der Halterung 1 eine dritte Kontaktfläche 14c auf dem SiOxNy-Film 9 ausgebildet ist. Ein Teil der dritten Kontaktfläche 14c ist so angeordnet, daß sie mit dem äußeren Ende des zweiten Piezowiderstandes 5 überlappt, wobei der SiOxNy-Film 9 dazwischen angeordnet ist, und daß der Piezowiderstand 5 mit der Kontaktfläche 14c durch das äußere der Kontaktflächen 10 verbunden ist, die in dem SiOxNy-Film 8 ausgebildet sind.

In der Halterung 1 des ersten erfindungsgemäßen

Ausführungsbeispiels ist die Seite F zwischen den Teilen D und E angeordnet, wobei auf der Seite F ein dritter und vierter Piezowiderstand 6 und 7 ausgebildet und so angeordnet sind, daß sie getrennt voneinander in Längsrichtung der Seite F angeordnet und miteinander durch einen dritten Leiter 13 verbunden sind, wie es in den Fig. 1 und 5 dargestellt ist.

Wie schon der erste und zweite Piezowiderstand 4 und 5 sind auch der dritte und vierte Piezowiderstand 6 und 7 bei dem erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel aus mit Bor angereichertem oder Bor-implantiertem Silizium hergestellt. Wie aus den Fig. 1 und 5 zu ersehen ist, erstreckt sich jeder dieser Piezowiderstände 6 und 7 in Längsrichtung der Seite F der Halterung 1, um eine rechteckige Form mit derselben Dicke anzunehmen, wie es bei dem ersten und dem zweiten Piezowiderstand 4 und 5 der Fall ist.

Der dritte Leiter 13 weist nun folgenden Aufbau auf. Eines der beiden sich gegenüberliegenden Enden des dritten Leiters 13 überlappt mit dem inneren der sich gegenüberliegenden Enden des dritten Piezowiderstandes 6 und das andere Ende des dritten Leiters 13 überlappt mit dem inneren der sich gegenüberliegenden Enden des vierten Piezowiderstandes 7. Das dazwischenliegende Teil des dritten Leiters 13 ist auf dem SiOxNy-Film 9 ausgebildet. Der dritte Leiter 13 des erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiels hat einen zweischichtigen Aufbau, der aus einer Chromschicht mit einer Dicke von 0,05 μ und einer Goldschicht mit einer Dicke von ungefähr 0,2 μ besteht.

Wie in Fig. 5 dargestellt ist, überlappt ein Ende des zweiten Leiters 12 mit dem anderen Ende des dritten Piezowiderstandes 6. Ein Teil der zweiten Kontaktfläche 14b überlappt mit dem anderen Ende des vierten Piezowiderstandes 7. Dabei sind die zweite und dritte Kontaktfläche 14b bzw. 14c vorzugsweise aus einem geeigneten Leitermaterial wie beispielsweise Aluminium oder ähnlichem hergestellt.

Fig. 6 zeigt einen entsprechenden elektrischen Schaltkreis, dessen Elemente elektrische Äquivalente zu denen des Beschleunigungssensors des ersten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiels mit dem zuvor beschriebenen Aufbau darstellen.

Im folgenden wird dieser Äquivalenzschaltkreis in Verbindung mit einem externen Schaltkreis beschrieben, der mit dem Äquivalenzschaltkreis verbunden ist. Bei dem in Fig. 6 dargestellten Äquivalenzschaltkreis sind der dritte und vierte Piezowiderstand 6 und 7 in Serie zwischen der ersten Kontaktfläche 14a und der zweiten Kontaktfläche 14b angeordnet und miteinander verbunden. Weiterhin sind der erste und zweite Piezowiderstand 4 und 5 in Serie zwischen der ersten Kontaktfläche 14a und der dritten Kontaktfläche 14c angeordnet und miteinander verbunden.

Obwohl in Fig. 1 weggelassen, sind Widerstände 32a und 32b mit den Kontaktflächen 14b und 14c verbunden. Diese Widerstände 32a und 32b sind jeweils am anderen Ende mit einem gemeinsamen Anschlußpunkt verbunden, über den der Äquivalenzschaltkreis der vorliegenden Erfindung mit dem äußeren Schaltkreis verbunden ist. Ein Ausgangs- bzw. Nachweissignal des erfindungsgemäßen Beschleunigungssensors entsteht dann zwischen der Kontaktfläche 14a und dem Anschlußpunkt 33.

Fig. 7 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel des Äquivalenzschaltkreises des erfindungsgemäßen Beschleunigungssensors, in der der äußere Schaltkreis, mit dem der Äquivalenzschaltkreis zu verbinden ist, weggelassen ist.

lassen worden ist. Bei diesem Ausführungsbeispiel ist beim Betrieb eine Gleichspannung V an der ersten Kontaktfläche 14a angelegt, wobei die zweite Kontaktfläche 14b mit einem Ende eines Stellwiderstandes 15a verbunden ist, wobei die dritte Kontaktfläche 14c mit einem Ende eines festen Widerstandes 15b verbunden ist und wobei die anderen Enden dieser Widerstände 15a und 15b geerdet sind.

Im Ergebnis entsteht ein Nachweissignal V_0 zwischen den Kontaktflächen 14b und 14c des erfindungsgemäßen Beschleunigungssensors. Dabei wird der Stellwiderstand 15a verwendet, um die Größe des Nachweissignales zu steuern.

Im Betrieb funktioniert der erfindungsgemäße Beschleunigungssensor wie folgt:

Wenn beispielsweise während des Gebrauches der Beschleunigungssensor der vorliegenden Erfindung einer in senkrechter Richtung zur Zeichenebene der Fig. 1 gerichtete Beschleunigung ausgesetzt ist, wird eine Kraft auf das Gewicht 8 des Beschleunigungssensors ausgeübt, deren Größe dem Produkt aus der Masse des Gewichtes 8 und der Beschleunigung entspricht, wodurch das Gewicht in eine Richtung bewegt wird, die durch die Beschleunigung bestimmt ist.

Wegen der Bewegung des Gewichtes 8 werden die Ausleger 2 und 3 verbogen, so daß Verformungen des ersten und des zweiten Piezowiderstandes 4 und 5 hervorgerufen werden, wobei die Verformung der Größe der Verbiegung der Ausleger 2 und 3 entspricht. Wegen der so hervorgerufenen Verformungen und wegen des piezoelektrischen Effektes verändern der erste und der zweite Piezowiderstand 4 und 5 ihren Widerstandswerte. Im Falle des in Fig. 7 dargestellten Schaltkreises bewirken solche Veränderungen der Widerstandswerte in Abhängigkeit von der Beschleunigung daß der Beschleunigungssensor der vorliegenden Erfindung das Nachweissignal V_0 (in Fig. 7 dargestellt) erzeugt. Das in dieser Weise erzeugte Nachweissignal V_0 , das der Beschleunigung entspricht, wird verwendet, um beispielsweise ein Airbagsystem eines Fahrzeuges wie beispielsweise eines Automobils zu steuern.

Bei den erfindungsgemäßen Ausführungsbeispielen des Beschleunigungssensors sind beide Ausleger 2 und 3 so im Querschnitt ausgestaltet, daß sie ein hohles Teil aufweisen, wie es in Fig. 4 dargestellt ist. Im Gegensatz dazu weist ein konventioneller Beschleunigungssensor einen Ausleger auf, der in Form einer dünnen Platte ausgestaltet ist, auf der der Piezowiderstand ausgebildet ist. Dementsprechend weist der konventionelle Beschleunigungssensor eine geringe mechanische Stabilität auf, während er in hohem Maße empfindlich ist. Da die Ausleger 2 und 3 den zuvor beschriebenen Aufbau aufweisen, weisen die Ausleger 2 und 3 bei den erfindungsgemäßen Ausführungsbeispielen des Beschleunigungssensors einen größeren Querschnitt als die dünne Platte des konventionellen Beschleunigungssensors auf. Weiterhin ist die Dicke jedes der Ausleger 2 und 3, auf denen der erste und der zweite Piezowiderstand 4 und 5 ausgebildet sind, im wesentlichen gleich oder kleiner, als es bei der dünnen Platte des konventionellen Beschleunigungssensors der Fall ist, wodurch der erfindungsgemäße Beschleunigungssensor eine gleich große oder größere Empfindlichkeit als der konventionelle Beschleunigungssensor aufweist.

Bei dem in Fig. 8 dargestellten erfindungsgemäßen ist auf der oberen Oberfläche des ersten Leiters 11 eine dünne isolierende Schicht ausgebildet, die aus einem isolierenden Material hergestellt ist. Diese nicht in Fig. 8

dargestellte isolierende Schicht erstreckt sich von ungefähr dem Gewicht 8 bis in die Nähe des gebogenen Teils des zweiten Leiters 12, wobei das gebogene Teil im wesentlichen im rechten Winkel abgebogen ist. Auf der zuvor beschriebenen isolierenden Schicht ist weiterhin eine leitende Schicht 16 ausgebildet, vorzugsweise als Kupferschicht 16.

Da die leitende Schicht 16 leicht schwingen kann, ist es möglich, die Schwingungen auf den ersten und zweiten Piezowiderstand 4 und 5 mit höchster Zuverlässigkeit zu übertragen, indem die leitende Schicht 16 auf dem ersten und dem zweiten Piezowiderstand 4 und 5 gebildet wird, wodurch der erfindungsgemäße Beschleunigungssensor weiter in seiner Empfindlichkeit verbessert wird.

Im folgenden wird nun das zweite Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Beschleunigungssensor mit Bezug auf Fig. 9 beschrieben. In Fig. 9 sind die Teile, die identisch mit den in der Fig. 1 bis 7 dargestellten Teile sind, mit denselben Bezugszeichen und Buchstaben versehen und werden auch nicht weiter erläutert. Die übrigen Teile des zweiten Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung, die von den in der Fig. 1 bis 7 dargestellten Teilen abweichen, werden im folgenden beschrieben.

Im allgemeinen weist das zweite Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Beschleunigungssensors ein Paar von Beschleunigungssensoren entsprechend dem ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung auf, die symmetrisch miteinander entlang der Seiten F der Halterungen 1 des ersten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiels verbunden sind.

Wie in Fig. 9 dargestellt ist, ist eine Halterung 20 des Beschleunigungssensors mit einem Paar von Öffnungen 20a und 20b versehen, die getrennt voneinander in Längsrichtung der Halterung angeordnet sind.

In jeder der Öffnungen 20a und 20b sind Ausleger 2 und 3, die denjenigen des ersten Ausführungsbeispiels entsprechen, so angeordnet, daß sie sich in Richtung der Mitte jeder der Öffnungen 20a und 20b erstrecken und wobei deren schwingende Enden integral mit jeweils einem der Gewichte 8 ausgebildet sind.

Die Ausleger 2 und 3 des in Fig. 9 dargestellten zweiten Ausführungsbeispiels weisen dieselbe Querschnittsform wie die Ausleger 2 und 3 des in Fig. 4 dargestellten ersten Ausführungsbeispiels auf. Ebenfalls wie beim ersten Ausführungsbeispiel sind ein erster bis vierter Piezowiderstand 21 bis 24 an der unteren Oberfläche der hohlen Teile 2a und 3a der Ausleger 2 und 3 des zweiten Ausführungsbeispiels ausgebildet.

Ein zentraler Steg 27 der in Fig. 9 dargestellten Halterung 20, durch den die Öffnungen 20a und 20b voneinander getrennt sind, weist eine obere Oberfläche auf, auf der ein SiOxNy-Film 9 ausgebildet ist, auf dessen Oberseite ein fünfter und ein sechster Piezowiderstand 25 und 26 ausgebildet sind (dargestellt mit gepunkteten Linien). Der fünfte Piezowiderstand 25 und der sechste Piezowiderstand 26 sind so angeordnet, daß sie sich getrennt voneinander in Längsrichtung des zentralen Steges 27 erstrecken. Weiterhin sind der erste bis sechste Piezowiderstand 21 bis 26 verglichen mit den Piezowiderständen des in Fig. 1 dargestellten ersten Ausführungsbeispiel identisch groß und sind aus Bor angereichertem oder Bor-implantierten Silizium hergestellt. Dabei ist die Menge des zugefügten bzw. implantierten Bors dieselbe wie im ersten Ausführungsbeispiel.

In der linken Hälfte der Halterung 20, die in Fig. 9 dargestellt ist, ist der erste Leiter 11 auf den oberen

Oberflächen (d. h. vorderen Oberflächen wie in Fig. 9 dargestellt) der Ausleger 2 und 3 ausgebildet. Durch den ersten Leiter 11 sind das innere der sich gegenüberliegenden Enden des ersten Piezowiderstandes 21 und das innere der sich gegenüberliegenden Enden des zweiten Piezowiderstandes 22 verbunden.

In der rechten Hälfte der in Fig. 9 dargestellten Halterung 20 ist der erste Leiter 11 auf den oberen Oberflächen (d. h. den vorderen Oberflächen wie in Fig. 9 dargestellt) der Ausleger 2 und 3 ausgebildet. Durch den ersten Leiter 11 sind das innere der sich gegenüberliegenden Enden des dritten Piezowiderstandes 23 und das innere der gegenüberliegenden Enden des Piezowiderstandes 24 verbunden.

Weiterhin sind der fünfte und sechste Piezowiderstand 25 und 26 miteinander durch einen dritten Leiter 29 verbunden, der auf der oberen Oberfläche des zentralen Steges 27 der Halterung 20 ausgebildet ist. Vorzugsweise sind der erste und dritte Leiter 11 und 29 aus Legierungen aus Chrom und Gold hergestellt.

Des weiteren sind bei den Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung der erste bis vierte Piezowiderstand 21 bis 24 auf der unteren Oberfläche der Ausleger 2 und 3 wie beim ersten in den Fig. 1 bis 7 dargestellten Ausführungsbeispiel ausgebildet. Dabei entsprechen die unteren Oberflächen der Ausleger 2 und 3 den mit 2c beim ersten in Fig. 4 dargestellten Ausführungsbeispiel bezeichneten Teil. Der fünfte und der sechste Piezowiderstand 25 und 26 sind zwischen dem SiOxNy-Film 9 und der Halterung 20 ausgebildet. Dabei ist der SiOxNy-Film in der oberen Oberfläche (d. h. in der vorderen Oberfläche wie in Fig. 9 dargestellt) des zentralen Steges 27 der Halterung 20 ausgebildet.

Der erste, dritte und fünfte Piezowiderstand 21, 23 und 25 sind mit ihren anderen Enden mit dem zweiten Leiter 28 über nicht dargestellte Kontaktlöcher verbunden, die im SiOxNy-Film 9 auf der oberen Oberfläche der Halterung 20 ausgebildet sind, wie es bei dem in Fig. 5 dargestellten ersten Ausführungsbeispiel der Fall ist. Wie nun in Fig. 9 dargestellt ist, ist der zweite Leiter 28 mit einer seiner längeren Seitenteile mit einer ersten Kontaktfläche 30a verbunden, über die der Beschleunigungssensor des zweiten erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiels mit einem geeigneten externen elektrischen Schaltkreis verbunden ist.

Weiterhin sind die anderen Enden des zweiten, vierten und sechsten Piezowiderstandes 22, 24, und 26 mit einer zweiten, sechsten und vierten Kontaktfläche 30b, 30d und 30e über entsprechende Kontaktlöcher verbunden, die in dem SiOxNy-Film 9 ausgebildet sind, der auf der oberen Oberfläche der Halterung 20 ausgebildet ist, was nicht in Fig. 9 dargestellt ist. Der Beschleunigungssensor des zweiten Ausführungsbeispiels kann, wie in Fig. 9 dargestellt ist, mit einem geeigneten externen elektrischen Schaltkreis über die Kontaktflächen 30b, 30c und 30d verbunden sein.

Bei dem zuvor beschriebenen zweiten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung werden die Piezowiderstände 21 bis 24 für den Nachweis von Schwingungen verwendet, während der fünfte und sechste Piezowiderstand 25 und 26 für einen Ausgleich verwendet werden.

Einen elektrisch äquivalenten Schaltkreis des erfindungsgemäßen Beschleunigungssensors, der den zuvor dargestellten Aufbau aufweist, ist in Fig. 10 dargestellt. In diesem Äquivalenzschaltkreis sind der erste und zweite Piezowiderstand 21 und 22 in Serie zwischen der ersten und zweiten Kontaktfläche 30a und 30b angeordnet und

miteinander verbunden. Weiterhin sind der fünfte und sechste Piezowiderstand 25 und 26 in Serie zwischen der ersten und dritten Kontaktfläche 30a und 30c angeordnet und miteinander verbunden. Schließlich sind der dritte und vierte Piezowiderstand 23 und 24 in Serie zwischen der ersten und der vierten Kontaktfläche 30a und 30d angeordnet und miteinander verbunden.

In Fig. 11 ist ein Beispiel eines Äquivalenzschaltkreises für eine praktische Verwendung dargestellt, bei dem eine Gleichspannung V an der ersten Kontaktfläche 30a anliegt, wobei die zweite, dritte und vierte Kontaktfläche 30b, 30c und 30d über den ersten, den zweiten und den dritten Stellwiderstand 15a, 15b und 15c geerdet sind.

Im Ergebnis entsteht ein erstes Sensorausgangssignal V₁ zwischen der Verbindung des ersten mit dem zweiten Piezowiderstand 21 und 22 und der Verbindung des fünften mit dem sechsten Piezowiderstand 25 und 26. Weiterhin entsteht ein zweites Beschleunigungssensorausgangssignal V₂ zwischen der Verbindung des dritten mit dem vierten Piezowiderstand 23 und 24 und der Verbindung des fünften mit dem sechsten Piezowiderstand 25 und 26.

Im folgenden wird nun die Betriebsweise des zuvor beschriebenen erfindungsgemäßen Beschleunigungssensor beschrieben, wobei der Beschleunigungssensor so angeordnet ist, daß der zentrale Steg 27 vertikal ausgerichtet ist.

Wenn nun der erfindungsgemäße Beschleunigungssensor einer eindimensionalen Beschleunigung ausgesetzt wird, die senkrecht zur Zeichenebene der Fig. 9 wie beim ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung ausgerichtet ist, bewegen sich die Gewichte 8 in entgegengesetzter Richtung gegenüber der Beschleunigung, wodurch Widerstandsveränderungen im ersten bis vierten Piezowiderstand 21 bis 24 hervorgerufen werden. Im Detail wirken sich die durch die Schwingungen hervorgerufenen Veränderungen der Widerstandswerte des ersten und zweiten Piezowiderstandes 21 und 22 an der ersten Kontaktfläche 30b aus, während sich die Veränderungen der Widerstandswerte des dritten und vierten Piezowiderstandes 23 und 24 an der vierten Kontaktfläche 30d auswirken. Da im wesentlichen keine Differenz zwischen der Verschiebung des rechten und des linken Gewichtes 8 auftreten, entsteht im wesentlichen kein Unterschied zwischen den veränderten Widerstandswerten.

Ist nun der Beschleunigungssensor einer zweidimensionalen Beschleunigung ausgesetzt, ist also insbesondere sein zentraler Steg 27 einem Drehmoment ausgesetzt, so daß sich der Beschleunigungssensor um die Längsachse des zentralen Steges 27 dreht wenn sich also beispielsweise der in Fig. 9 dargestellte Beschleunigungssensor mit seiner rechten Hälfte nach vorne und mit seiner linken Hälfte nach hinten in zur Zeichenebene der Fig. 9 senkrechter Richtung wegen der zuvor genannten zweidimensionalen Beschleunigung bewegt, arbeitet der Beschleunigungssensor wie folgt. Wegen der in den longitudinalen Richtungen des ersten und zweiten Piezowiderstandes 21 und 22 auftretenden Kompressionsbelastungen entstehen in diesen Piezowiderständen 21 und 22 Kompressionsverformungen. Dagegen entstehen im dritten und vierten Piezowiderstand 23 und 24 wegen der in Längsrichtung auftretenden Streckungsbelastung Streckungsverformungen auf.

Dementsprechend sind die zuvor genannten Widerstandswertveränderungen des ersten und zweiten Piezowiderstandes 21 und 22 unterschiedlich gegenüber

denen in den dritten und vierten Piezowiderstand 23 und 24, wodurch der Beschleunigungssensor die Richtung und Größe des Drehmomentes durch Vergleich der Ausgangssignale V_1 und V_2 durch Verwendung eines geeigneten externen Schaltkreises bestimmen kann. Zusammenfassend läßt sich also die vorliegende Erfindung folgendermaßen darstellen:

Bei dem erfindungsgemäßen Beschleunigungssensor werden die Endteile der freitragenden Ausleger, auf denen die Schwingungsnachweisvorrichtungen befestigt sind, fest durch das Trägerelement gehalten, wobei die getragenen Enden der freitragenden Ausleger größere Abmessungen als die anderen Teile der freitragenden Ausleger aufweisen. Dabei sind die freitragenden Ausleger so verbessert, daß sie eine größere mechanische Stabilität gegenüber konventionellen freitragenden Auslegern aufweisen, die konstante Abmessungen über ihre gesamte Länge aufweisen, so daß die erfindungsgemäßen freitragenden Ausleger sowohl zuverlässiger als auch einfacher im Aufbau sind.

Da die Ausgleichsvorrichtung aus demselben Material wie die Schwingungsnachweisvorrichtungen hergestellt ist, ist es bei dem erfindungsgemäßen Beschleunigungssensor nicht notwendig, eine separate Ausgleichschaltung vorzusehen. Der erfindungsgemäße Beschleunigungssensor stellt also einen geeigneten Ausgleich ohne die Verwendung einer separaten Ausgleichsvorrichtung in Form eines äußeren Schaltkreises sicher.

Da die Piezowiderstände der Schwingungsnachweisvorrichtung und der Ausgleichsvorrichtung aus Bor angereichertem oder Bor-implantiertem Silizium mit einer großen Borkonzentration hergestellt sind, liegt ein weiterer Vorteil der vorliegenden Erfindung darin, daß es möglich ist, diese Piezowiderstände davor zu schützen, daß sie durch eine anisotrope Ätzflüssigkeit wie beispielsweise KOH oder andere geätzt werden.

Da weiterhin bei der vorliegenden Erfindung der freitragende Ausleger ein hohles Teil im Querschnitt aufweist, wird die effektive Querschnittsfläche des freitragenden Auslegers vergrößert, ohne daß gleichzeitig die Dicke des Auslegers selber vergrößert wird. Daher ist es möglich, den erfindungsgemäßen Beschleunigungssensor sowohl in seiner mechanischen Stabilität als auch in seiner Empfindlichkeit zu verbessern.

Bei einer weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsform sind benachbart angeordnete Öffnungen in der Halterung jeweils mit einer Nachweisvorrichtung für den Nachweis der Richtung einer zweidimensionalen Beschleunigung zusätzlich zu einer eindimensionalen Beschleunigung vorgesehen. Wenn sich also die Halterung um deren zentralen Steg wegen eines auf die Halterung einwirkenden Drehmomentes dreht, sind die Richtungen der Durchbiegungen der freitragenden Ausleger in den beiden Öffnungen relativ zur Halterung verschieden. Daher sind die Ausgangssignale des erfindungsgemäßen Beschleunigungssensors wegen der unterschiedlichen Verformungen der Ausleger unterschiedlich, wodurch es möglich ist, daß der erfindungsgemäße Beschleunigungssensor die Richtung und Größe der zweidimensionalen Beschleunigung bestimmen kann, der der Beschleunigungssensor ausgesetzt ist.

haltenden freitragenden Ausleger (2, 3), wobei der Ausleger (2, 3) am schwingenden Ende mit einem Gewicht (8) versehen ist, dadurch gekennzeichnet, daß das getragene Ende des Auslegers (2, 3) eine größere Abmessung als der übrige Teil des Auslegers (2, 3) aufweist, daß eine Halterung (1, 20) für das Tragen des Auslegers (2, 3) vorgesehen ist und daß die Halterung (1, 20) eine Ausgleichsvorrichtung aufweist, die denselben Aufbau wie die Schwingungsnachweisvorrichtung aufweist.

2. Beschleunigungssensor nach dem vorangehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, daß jede der Schwingungsnachweisvorrichtungen und jede der Ausgleichsvorrichtungen als Piezowiderstand (4, 5, 6, 7; 21, 22, 23, 24, 25, 26) ausgebildet ist.

3. Beschleunigungssensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Piezowiderstand (4, 5, 6, 7; 21, 22, 23, 24, 25, 26) aus mit Bor angereichertem Silizium mit einer Borkonzentration von ca. $2 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ besteht.

4. Beschleunigungssensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausleger (2, 3) im Querschnitt ein hohles Teil (2a, 3a) aufweist.

5. Beschleunigungssensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Halterung (1) als Rahmen mit einer Öffnung (1a) ausgebildet ist, in der ein Paar von Auslegern (2, 3) angeordnet ist, deren schwingende Enden das Gewicht (8) tragen und die im wesentlichen rechtwinklig zueinander angeordnet sind.

6. Beschleunigungssensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Halterung (20) als Rahmen mit zwei benachbart angeordneten Öffnungen (20a, 20b) ausgebildet ist, zwischen denen ein zentraler, eine symmetrische Linie definierender Steg (27) angeordnet ist, um den zwei Paare von Auslegern (2, 3) linien-symmetrisch so angeordnet sind, daß je ein Paar von Auslegern (2, 3) in einer der Öffnungen (20a, 20b) angeordnet ist, daß die schwingenden Enden jedes Paares von Auslegern (2, 3) über das Gewicht (8) miteinander verbunden sind und daß Veränderungen der Widerstandswerte der in den Auslegern (2, 3) angeordneten Schwingungsnachweisvorrichtungen von jeder Öffnung (20a, 20b) getrennt ausgegeben werden.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

Patentansprüche

1. Beschleunigungssensor mit mindestens einer Schwingungsnachweisvorrichtung und mit einem die Schwingungsnachweisvorrichtung

- Leerseite -

THIS PAGE BLANK (USPTO)

FIG.1

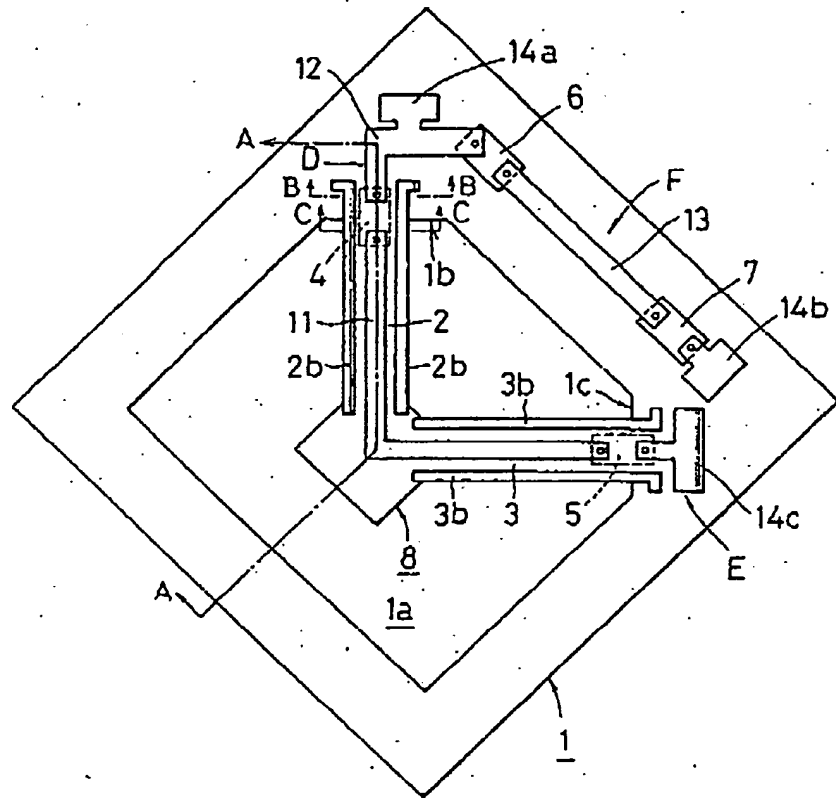


FIG.2

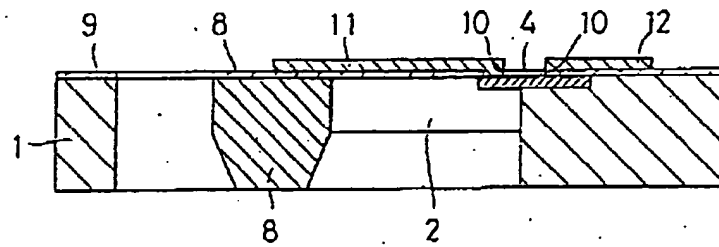


FIG.3

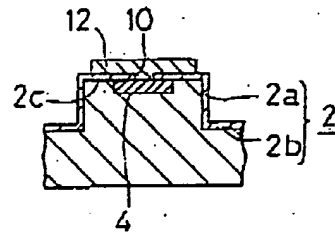


FIG.4

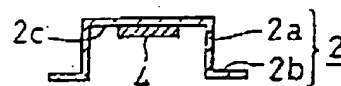


FIG. 5

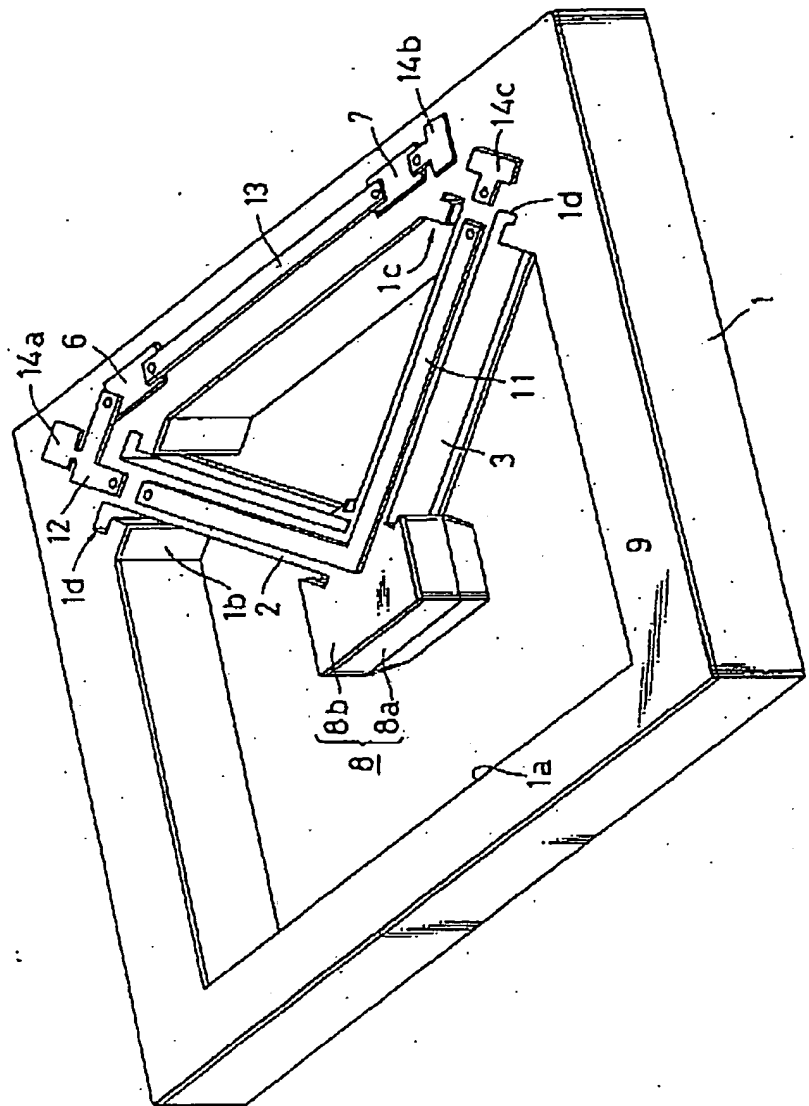


FIG. 6

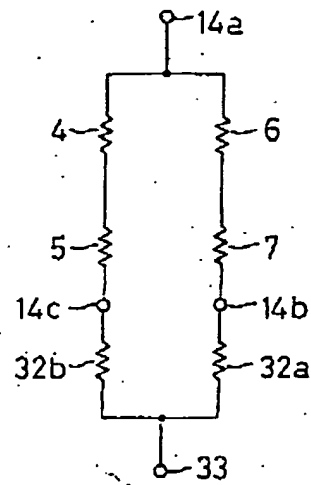


FIG. 7

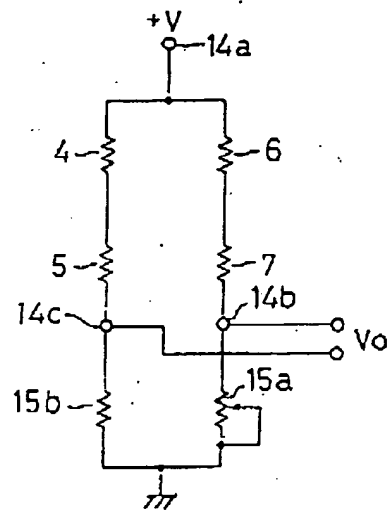


FIG. 8

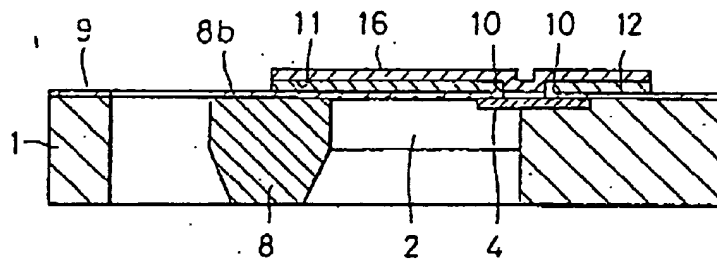


FIG. 9

